

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
DÉBORA CRISTINA DE SOUZA

**CONTRIBUIÇÃO HÍDRICA DAS ZONAS URBANIZADA E AGRÍCOLA DO
MUNICÍPIO DE LOANDA/PR NO SURGIMENTO E NA EVOLUÇÃO DA
VOÇOROCA VILA VITÓRIA**

**CURITIBA
2016**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
DÉBORA CRISTINA DE SOUZA

**CONTRIBUIÇÃO HÍDRICA DAS ZONAS URBANIZADA E AGRÍCOLA DO
MUNICÍPIO DE LOANDA/PR NO SURGIMENTO E NA EVOLUÇÃO DA
VOÇOROCA VILA VITÓRIA**

Artigo apresentado como requisito para a conclusão do curso de Especialização em Análise Ambiental, do Departamento de Geografia, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro dos Santos.

CURITIBA
2016

Contribuição hídrica das zonas urbanizada e agrícola do município de Loanda/PR no surgimento e na evolução da Voçoroca Vila Vitória.

*Débora Cristina de Souza¹
Leonardo José Cordeiro dos Santos²*

RESUMO

O processo de ocupação da Região Noroeste do Estado do Paraná promoveu um desmatamento generalizado, expondo a cobertura pedológica. Esta cobertura, na área de ocorrência do Arenito Caiuá, é caracterizada pela presença de solos de textura média e apresenta grande susceptibilidade aos processos erosivos, gerando sulcos, ravinas e voçorocas. Tais fenômenos promovem a degradação dos solos e a perda da produtividade; assoreamento da rede de drenagem e ainda prejuízos para infraestrutura urbana.

O objeto deste estudo consiste em analisar a contribuição hídrica da zona urbana do município de Loanda/PR no surgimento e na evolução da erosão Vila Vitória, a qual desde a década de 70 vem trazendo prejuízos à população local e teve sua área aumentada em 79% entre os anos de 2003 e 2013, passando de 105.061,87 m² para 188.704,57 m².

Sabe-se que o processo de urbanização deste município resultou em diversos problemas ambientais, sendo a ocupação desordenada do solo e o desmatamento para uso agrícola os principais fatores que contribuíram para o surgimento desta erosão que traz como consequência prejuízos para a população local. Esta pesquisa baseou-se no Modelo Hidrológico *Curve Number* (MHCN) e no Método do Hidrograma Unitário Sintético do *Soil Conservation Service* para estudar qual o aporte da vazão da porção urbanizada e da porção não urbanizada da bacia de contribuição para o desenvolvimento da erosão Vila Vitória. O estudo mostrou que a vazão proveniente da porção urbana da bacia atinge seu pico de 19,35 m³s⁻¹ em 12 min enquanto o pico de 11,20 m³s⁻¹ da porção não urbanizada ocorre após 18,06 min.

Palavras-chave: Erosão urbana; Modelo Hidrológico *Curve Number*; hidrograma unitário.

ABSTRACT

The process of occupation of the State of Paraná Northwest Region, promoted a widespread deforestation, exposing the soil cover. This coverage, in Caiuá Sandstone hit area is characterized by the presence of sandy textured soils and has great susceptibility to erosion generating grooves, ravines and gullies. Such phenomena promote land degradation and loss of productivity; silting of the drainage system and even damage to urban infrastructure. The object of this study is to analyze the contribution of water urbanized area and derelict in the city of Loanda / PR in the emergence and evolution of erosion Vila Vitoria. It is known that this municipality

¹ Bacharel em Engenharia Ambiental (Universidade Federal do Paraná – UFPR), Mestre em Geologia Ambiental (Universidade Federal do Paraná – UFPR), debora0405@gmail.com

² Professor do curso de especialização em Análise Ambiental da Universidade Federal do Paraná, Doutor em Geografia (Universidade de São Paulo – USP), santos.ufpr@gmail.com

urbanization process resulted in several environmental problems, and disorderly land use and deforestation for agricultural use the main factors that contributed to the emergence of this erosion which brings as a consequence losses for the local people. This research was based on the Curve Number Model Hydrological (CNMH) and hydrograph of the Synthetic Unit-Hydrograph Method of Soil Conservation Service to study which flow from the intake portion of the urban and rural portion of the contribution basin for the development of erosion Vila Vitória. The study showed that the flow from the urban portion of the basin reaches its peak of $19,35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ in 12,00 min while peak $11,20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ non-urbanized portion occurs after 18,06 min.

Key-words: Urban erosion; Hydrological Curve Model Number; unit hydrograph

Introdução

O processo de colonização do Norte do Paraná possui três fases distintas: a ocupação do Norte Pioneiro ou Norte Velho, a ocupação do Norte Novo e a ocupação do Norte Novíssimo (França, 2011). Conforme explica o autor, toda a Região Norte foi ocupada por imigrantes de diversas regiões, principalmente por paulistas e mineiros, fruto do processo econômico vigente, dependente da cafeicultura paranaense.

Segundo França (2011), o Norte Novíssimo é o território que se estende das proximidades do município de Maringá até o rio Paraná e o rio Piquiri e corresponde à área classificada pelo IBGE como de Mesorregião do Noroeste Paranaense. De acordo com o autor, os colonos vinham em busca da famosa “terra roxa”, no qual o café se desenvolveu bem, gerando boas produções. No entanto, em algumas localidades o solo era arenoso e muito pobre em nutrientes, e em poucos anos, sem a devida correção, tornou-se inviável para esse cultivo. O período de maior dinamismo da cafeicultura, situado entre meados da década de 1940 e a década de 1970, teve como cenário principal de sua expansão as terras do Norte paranaense. Este avanço instaurou na região certo planejamento dos lotes rurais e também a construção de cidades planejadas, seguindo um esquema de construções de estradas e cidades no alto dos espigões (Fonseca, 2006 *apud* França, 2011).

Todo este processo de ocupação desordenada e mau uso do solo no Noroeste do Paraná associados ao tipo de solo da região contribuíram para desenvolvimento de erosões hídricas na região.

O processo de erosão hídrica dos solos se manifesta de diferentes maneiras, dependendo da sua erodibilidade e da erosividade das chuvas. Lal (1988) cita estes

dois fatores físicos como os mais importantes e significantes para a magnitude da erosão do solo. Ainda de acordo com o autor, o primeiro é o resultado das interações que ocorrem entre a chuva e o solo e a resistência do mesmo para desagregação e transporte de partículas, enquanto o segundo está relacionado com a duração, o ângulo das gotas, a velocidade, a intensidade, a frequência, a distribuição e a direção das gotas.

Outro fator relevante que contribui para o desenvolvimento da erosão é a alteração da paisagem. A partir do momento em que ocorre a modificação da paisagem pelo homem, as relações processuais morfodinâmicas se alteram, os solos sofrem o efeito pluvioerosivo, com o aumento do fluxo superficial e a consequente redução da infiltração (Cassetti, 1991). De acordo com Guerra (2007 *apud* Cherobin 2012), a erosão ocorre a partir do momento em que as forças que removem e transportam materiais excedem aquelas que tendem a resistir. A erosão hídrica relaciona-se à desagregação das partículas constituintes do solo e segundo Bacellar (2000), é extremamente grave, uma vez que atua quase que imperceptivelmente, chegando a arruinar grandes extensões de terras e causando o voçorocamento (Cherobin, 2012).

As voçorocas são formas agressivas de erosão dotadas de grande poder destrutivo e difícil controle, que ocorrem em diferentes formas de encostas resultantes de alguma alteração do meio físico, ocasionadas a partir das ravinas, pela erosão do escoamento superficial e também pelo escoamento subsuperficial (Cherobin, 2012).

Iwasa e Prandini (1980) classificam as voçorocas de acordo com o espaço geográfico onde estas estão inseridas, podendo ser urbanas ou rurais. Para os autores as voçorocas rurais resultam do ravinamento originado em valas de demarcação, trilhas ou linhas de plantio e afirmam que se manifestam quando o lençol freático é interceptado pela ravina e esta evolui para uma voçoroca. Ocorrem em pastagens e culturas de má cobertura onde ocorre o manejo inadequado do solo. No caso das voçorocas urbanas, estas estão ligadas à implantação de núcleos urbanos normalmente instalados em pontos mais altos em terrenos de baixa resistência à erosão, que quando não pavimentados apresentam ravinamento nas ruas que podem evoluir para voçorocas ao interceptarem o lençol freático. Os autores ainda afirmam

que captação e lançamento de águas pluviais não conduzidos por sistemas eficientes e lançados na drenagem mais próxima da zona urbanizada colaboram para o surgimento de um processo erosivo remontante com dinâmica acelerada, sendo impossível prever as consequências, colocando em risco a segurança da população.

Os processos de voçorocamentos na região Noroeste do Paraná têm sido alvo de estudo por pesquisadores e têm causado preocupação para produtores rurais e para o poder público. No início da década de 1970, técnicos dos governos estadual e federal, com a colaboração da Organização dos Estados Americanos (OEA), desenvolveram um relatório de estudo do controle da erosão no Noroeste do Paraná, que sintetizou as soluções a serem empregadas nas obras de controle da erosão urbana. Os resultados deste trabalho serviram como base para inúmeras pesquisas e proposta realizadas pelos profissionais da área (OEA, 1973).

Em 1976 foi criada a SUCEPAR (Superintendência de Controle a Erosão no Paraná), com o objetivo de atuar na solução do problema. Em 1988 a SUCEPAR foi transformada em SUCEAM (Superintendência de Controle da Erosão e Saneamento Ambiental), com mudança significativa no enfoque dos trabalhos, ou seja, uma maior preocupação com a prevenção. Nesse sentido, o convênio firmado entre a SUCEAM e a FUEM-GEMA (Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente ligado à Universidade Estadual de Maringá), produziu o mapeamento geológico geotécnico piloto da cidade de Umuarama e posteriormente o mesmo trabalho foi realizado em outras cidades do Noroeste, sendo Santa Isabel do Ivaí, Umuarama, Cafezal do Sul, Loanda e Pérola os municípios com registros mais expressivos de erosões.

Diversas contribuições acadêmicas podem ser citadas, como Nóbrega (1992), Cunha (1996), Nakashima (1999) e Gasparetto (1999), que investigaram a gênese e evolução do meio físico do Noroeste do Estado do Paraná, associando essas questões ao desenvolvimento dos processos erosivos. Segundo Manguiera *et al* (2012) por meio de pesquisas realizadas pelo Laboratório de Biogeografia e Solos (LABS/UFPR) foi possível cartografar as formas erosivas originadas pela erosão hídrica e identificar os condicionantes físicos que influenciam o desenvolvimento das mesmas e atualmente o laboratório citado desenvolve um mapeamento dos processos erosivos em

municípios do Noroeste do Paraná o qual apresentará subsídios para um plano de gerenciamento de riscos.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a relação da ocupação do espaço urbanizado e não urbanizado com a voçoroca Vila Vitória, no município de Loanda/PR, por meio da análise da contribuição das vazões da zona urbanizada e zona de uso agrícola.

Material e Método

Área de estudo

O município de Loanda localiza-se na região conhecida como Norte Novíssimo do Paraná (Figura 1), distante 585 km da capital Curitiba.

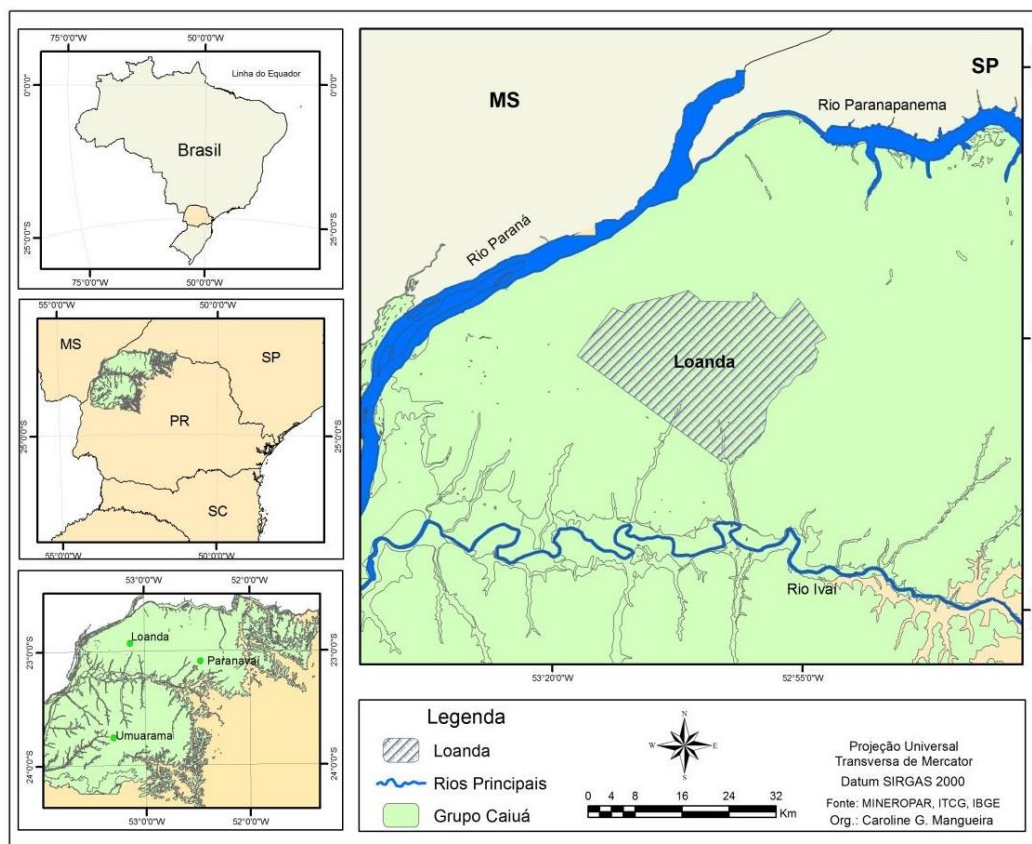


Figura 1: Localização do município de Loanda-PR

Fonte: Mangueira *et al*, 2015.

De acordo com Maack (1981) a vegetação nativa do município foi substituída por áreas de uso agrícola e urbano (Figura 2), atividades que contribuíram para o desenvolvimento de processos erosivos.

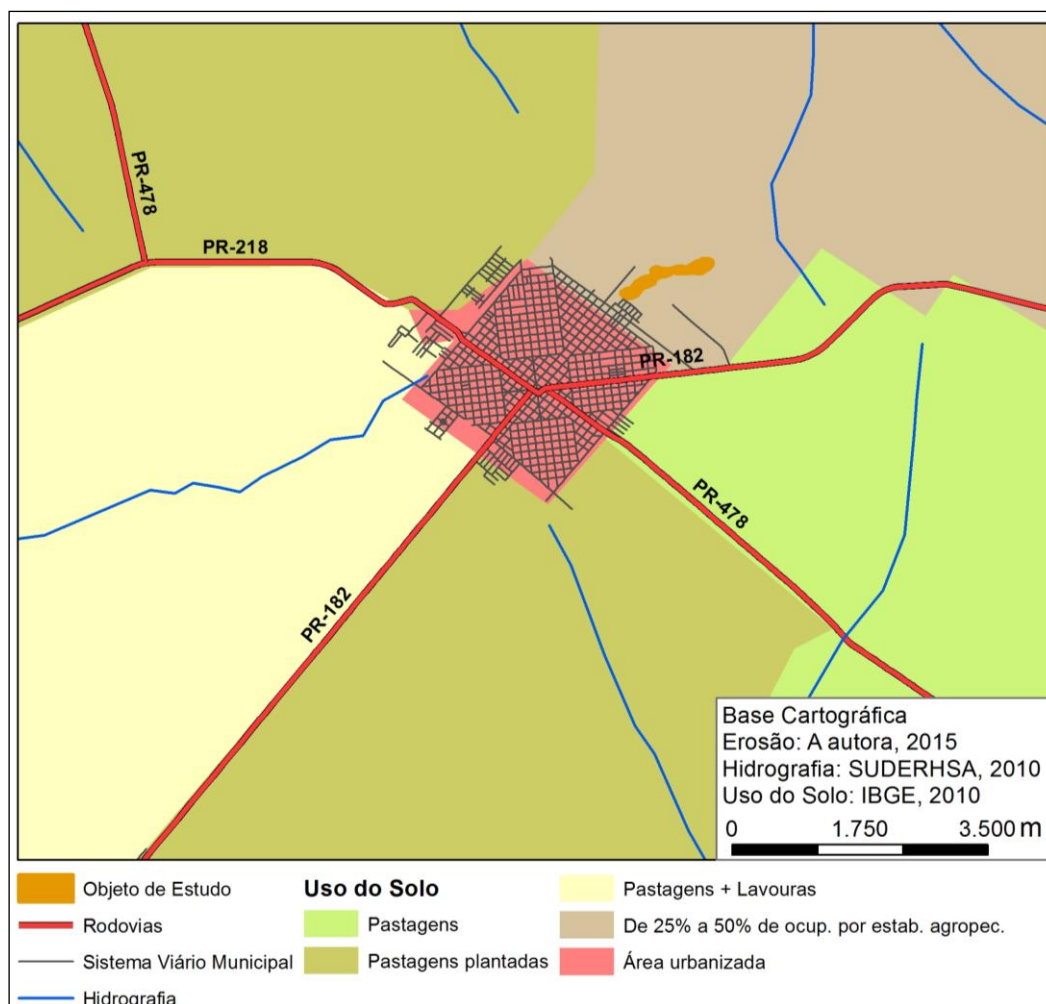


Figura 2: Uso do solo do município de Loanda-PR

Destaca-se ainda que o município de Loanda se localiza no divisor das bacias hidrográficas dos rios Ivaí, Paranapanema e Paraná. Ao delimitar as sub-bacias da área urbana de Loanda (Figura 3), percebe-se que os interflúvios principais e secundários dividem a cidade em quatro sub-bacias, sendo que parte das águas pluviais drenam para a sub-bacia do córrego Areia Branca, setor nordeste da cidade e com 4,4 km² de área, e que a erosão estudada se encontra instalada a montante da cabeceira de drenagem do córrego

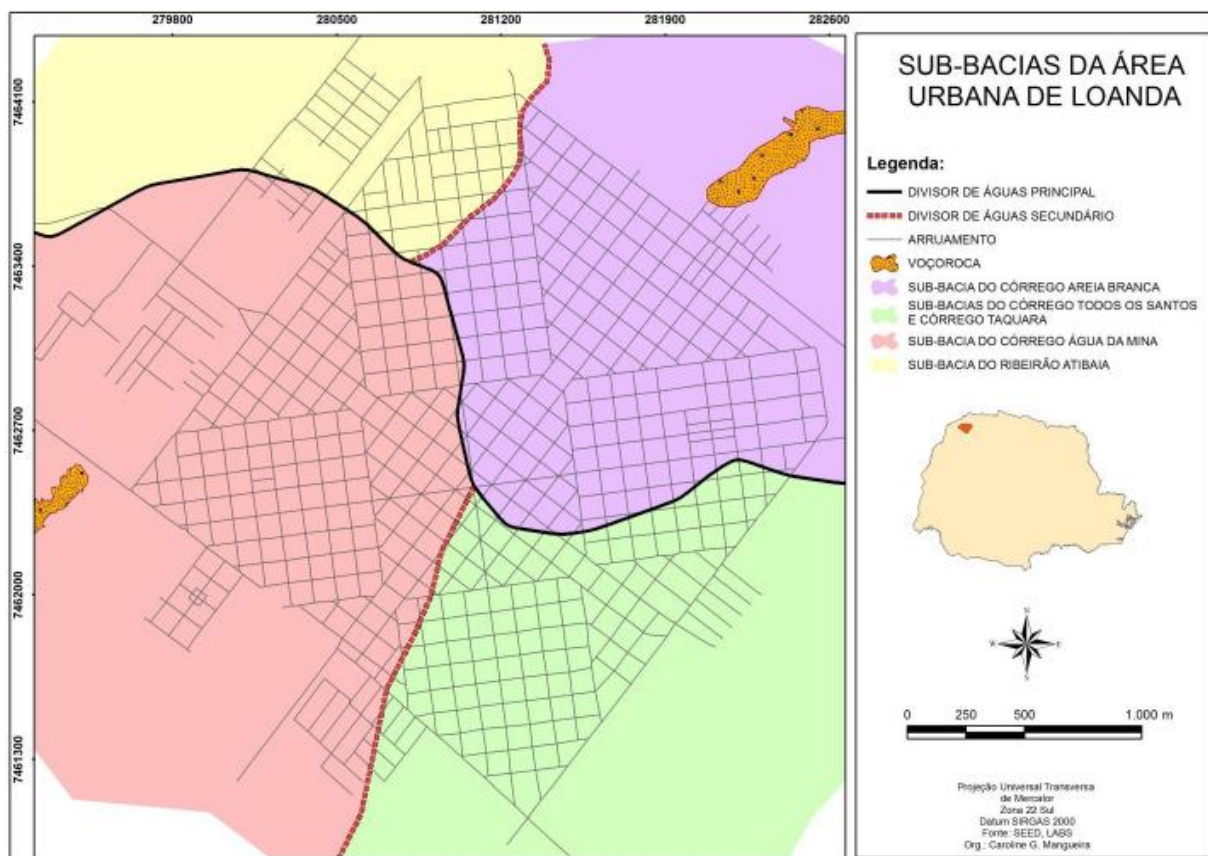


Figura 3: Uso do solo do município de Loanda-PR

Fonte: Manguiera *et al*, 2015, adaptado de Cancean (2013)

Como ocorria com outros núcleos urbanos na época da colonização agrária do Norte do Paraná, Loanda também foi planejada seguindo um esquema de construções de estradas e cidade no alto dos espigões (modelo de planejamento criado pela Companhia Melhoramentos Norte do Paraná - CMNP). Segundo França (2011), as cidades compreendiam áreas destinadas às diferentes classes da sociedade, e também áreas para a construção de indústrias, comércios e serviços. Ainda de acordo com o autor, a forma de divisão dos terrenos na zona rural dos municípios colonizados pela CMNP foi determinada da seguinte forma: os lotes eram divididos seguindo as estradas nos divisores de água, de modo que cada lote dava acesso à estrada que seguia o espigão e à drenagem na baixa vertente. O pequeno produtor iria plantar café nos altos espigões e próximo ao curso d'água iria construir sua residência. Os lotes teriam de 10 a 15 alqueires, para o estabelecimento de grande número de famílias (Figura 3).

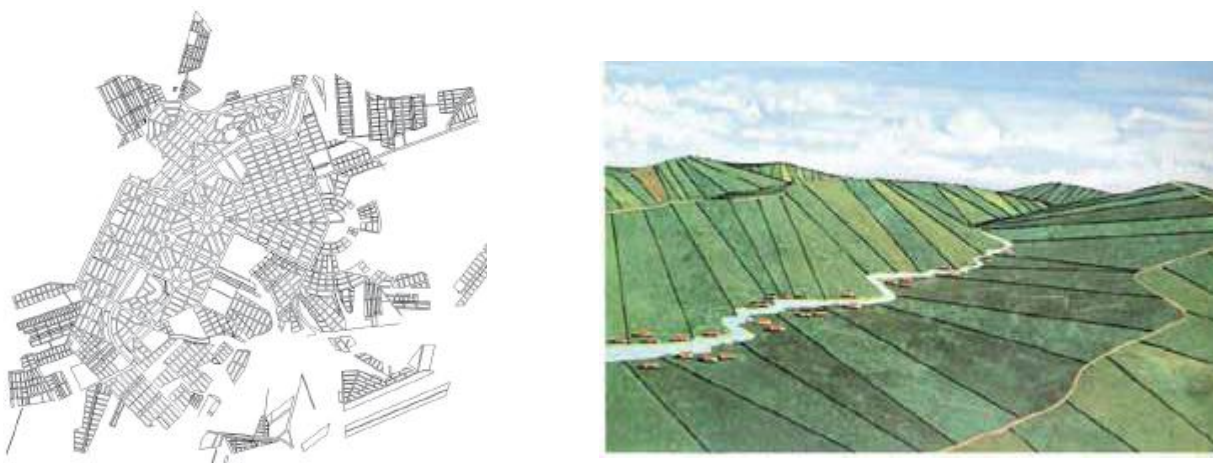


Figura 3: Modelo de planta das cidades planejadas pela CMNP (esquerda) e visão gráfica em perspectiva panorâmica do sistema de repartição de terras executado pela CMNP (direita).

Fonte: França, 2011)

Segundo Nakashima (1999 *apud* Manguiera *et al*, 2015), a urbanização de Loanda, localizada em terreno de alta suscetibilidade aos processos erosivos, deveria seguir diretrizes de projetos de loteamento que contivessem orientações de controle de erosão urbana, principalmente relacionadas às obras de drenagem, tendo em vista que, de acordo com Iwasa e Fendrich (1998 *apud* Manguiera *et al*, 2015), entre as principais causas do desencadeamento e da evolução dos processos erosivos nas áreas urbanas destaca-se o traçado inadequado do sistema viário, muitas vezes agravado pela falta de pavimentação, guias e sarjetas e, juntamente com isso, a deficiência do sistema de drenagem de águas pluviais e servidas (tanto nas formas de captação, como na dissipação).

O mal planejamento de ocupação do solo, somado a alta suscetibilidade aos processos erosivos do terreno onde encontra-se o município de Loanda e ao sistema ineficiente de drenagem urbana resultaram em duas grandes erosões em seu perímetro urbano. Segundo Manguiera *et al* (2015) a maior delas é a voçoroca Vila Vitória (Figuras 4 e 5).

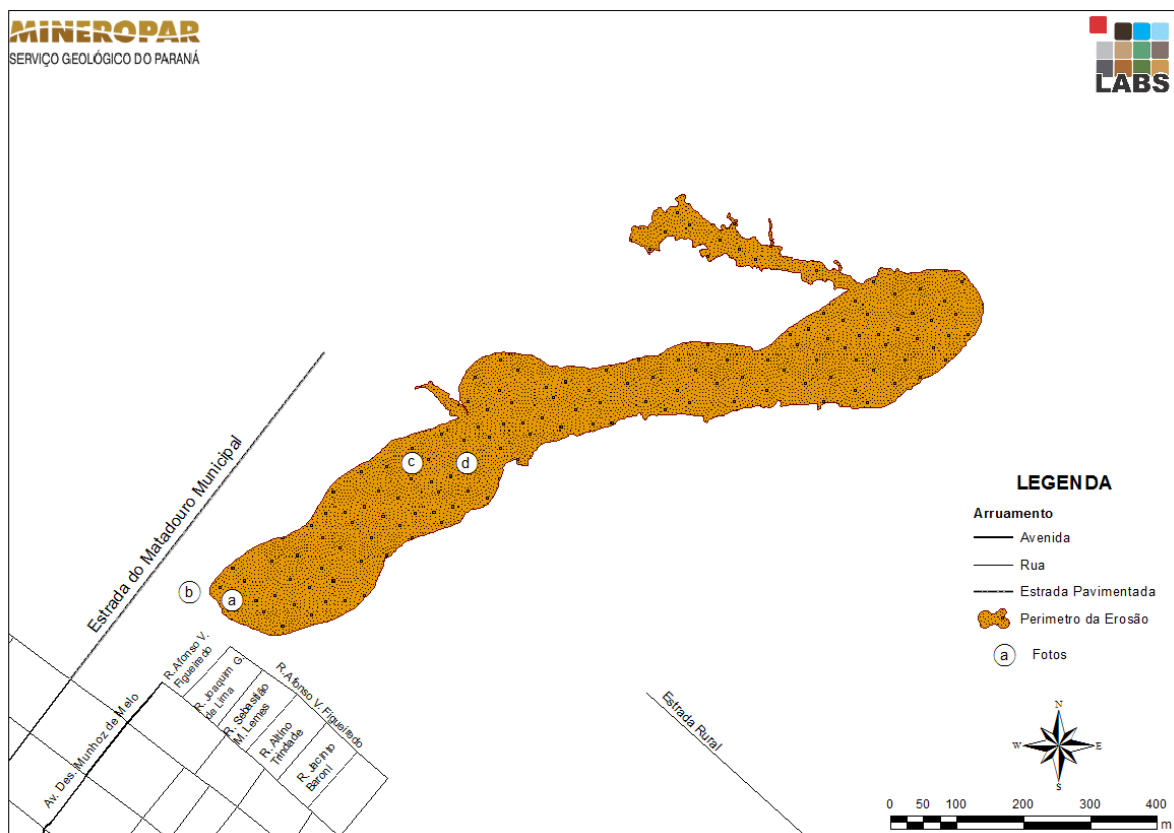


Figura 4: Perímetro da erosão Vila Vitória. As fotos indicadas são apresentadas na Figura 5.

Fonte: Mineropar e UFPR, 2015 – Modificado





Figura 5: Erosão Vila Vitória: a) Vista geral da erosão recuperada; b) Coletor de águas superficiais da cidade situado à montante da erosão recuperada; c) À jusante, vista geral da porção não recuperada da erosão em evolução lateral e remontante com destruição das galerias existentes; d) Obras de contenção destruídas pela erosão remontante.

Fonte: Mineropar e UFPR, 2015

Modelo hidrológico aplicado.

As estimativas das vazões máximas de escoamento superficial são frequentemente necessárias, tanto em bacias hidrográficas com ocupação agrícola, quanto em urbanas. O dimensionamento de drenos, barragens e obras de proteção contra cheias e erosão hídrica requerem o estudo das precipitações intensas, para obtenção da altura da chuva de projeto, com a qual é definida a vazão a ser utilizada. No projeto de estruturas de controle de erosão e inundação são necessárias, também, informações sobre o escoamento superficial, particularmente a vazão correspondente a um determinado período de retomo (SCHWAB *et al.*, 1966). Segundo Beltran et al (1988), o primeiro passo para determinar a vazão de projeto consiste em calcular a fração da precipitação que se transforma em escoamento superficial. A aplicação de métodos empíricos na predição do escoamento superficial, resultante de uma precipitação, pode ser considerada como uma primeira aproximação.

Um dos métodos mais utilizados para a estimar o escoamento superficial é o Método do *Soil Conservation Service- SCS* do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Este método tem sido aplicado por diversos autores para a avaliar impactos de uso do solo sobre os sistemas de drenagem de urbana; para calcular vazões de projeto em diversas obras hidráulicas; para o cálculo de vazões de pico em

bacias e hidrográficas (HOEPFNER, A.C; 2007; MATA-LIMA, *et al*, 2007; Fernandes *et al*, 2015; VARGAS, 2014; MOREIRA, 2014), entre outros. Utiliza-se o método do SCS para estimar a volume (lâmina) de escoamento superficial a partir de dados precipitação e de outros parâmetros da bacia. Neste estudo o Método do SCS será aplicado para estimar o escoamento superficial da área urbana e agrícola que contribuem para o desenvolvimento da erosão Vila Vitória.

Pela metodologia do SCS (Conservation Service) a equação para a precipitação efetiva, cujos resultados obtidos permitem determinar a precipitação efetiva da área que irá influenciar no escoamento superficial, considerando-se como único parâmetro, a Curve Number (CN) (SCS, 1972) e dada por:

$$Q = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{P + 0,8 * S}$$

Onde: Q = escoamento superficial (em mm); P = a precipitação; S = o potencial de infiltração máximo após o início do escoamento superficial. O parâmetro S está relacionado ao solo e à condição de cobertura da bacia de drenagem, através do parâmetro CN (Curve Number), tabelado pelo SCS, por meio da equação:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Na aplicação do Modelo Hidrológico Curve Number, as características físicas da bacia hidrográfica, tais como o grupo hidrológico do solo (GHS) (Tabela 1), uso, condição hidrológica do solo e umidade, foram de fundamental importância, para combinar as características da área de estudo e determinar a Curve Number (CN) mais dinâmica, um parâmetro que representa e estima o escoamento superficial gerado por uma chuva.

O parâmetro CN depende de três fatores: umidade do solo, tipo de solo e ocupação de solo. Diante dos dados de precipitação e de solos da área de estudo, foi possível associar a classificação hidrológica dos solos (Tabela 1) com os valores de CN (Tabela 2), comparando-os com as correspondentes condições de uso e cobertura da terra, variando desde uma cobertura muito impermeável (limite inferior da CN), observada para os solos Neossolos Litólicos, até uma cobertura permeável (limite superior da CN), que é o caso observado para os solos Argissolos.

Tabela 1 - Classificação dos Grupos Hidrológicos dos Solos e características e capacidade de infiltração correspondentes.

GHS	Características	Capacidade de infiltração
A	Solos arenosos e argilosos, profundos e bem drenados	> 3,4 mm h-1
B	Solos arenosos, com pouca argila e orgânico.	2,5 e 3,4 mm h-1
C	Solos mais argilosos que o GHS B, com baixa permeabilidade	1,4 e 2,5 mm h-1
D	Solos com pouca argila, rasos, pouco desenvolvidos e muito impermeáveis.	< 1,4 mm h-1

Fonte: Lombardi Neto *et al.* (1991).

Tabela 2 - Valores médios do parâmetro Curve Number (CN) para bacias hidrográficas rurais

Uso da terra	Superfície	Tipo de solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceamento em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	99
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densos, de alta transpiração	25	55	70	77
Florestas	Muito esparsas, de baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, de alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: (Tucci, 2000).

Tabela 3 - Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas

Cobertura do solo		Tipo de solo			
		A	B	C	D
Zonas cultivadas	Sem conservação do solo	72	81	88	91
	Com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições		68	79	86	89
Baldios em boas condições		39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosques ou zonas com cobertura ruim		45	66	77	83
Floresta com boa cobertura		25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições	Com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
	Com relva de 50% a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais					
Lotes de (m²)		% média impermeável			
< 500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc		98	98	98	98
Arruamentos e estradas	Asfaltadas e com dragagem de águas pluviais	98	98	98	98
	Paralelepípedos	76	85	89	91
	Terra	72	82	87	89

Fonte: Tucci *et al*, 1993.

Existem tabelas do número CN da curva de *runoff* para bacias rurais e para bacias urbanas. De acordo com Tucci *et al* (1993) o valor da curva CN para solos arenosos (Grupo B) e para áreas agrícolas é 67. Para área urbana existe sempre uma parcela do solo que é impermeável. Na área impermeável o número CN do solo é CN=98. O coeficiente final CN_w composto é a soma composta do coeficiente da área permeável e da área impermeável com o peso correspondente da fração da área impermeável da seguinte forma, conforme (McCuen, 1998).

A equação abaixo é válida quando a porcentagem total da área impermeabilizada é maior que 30% (trinta por cento) da área total, como é o caso da área urbana em estudo.

$$CN_w = CN_p * (1 - f) + f * (98)$$

Sendo:

CN_w = número CN composto da área urbana em estudo;

CN_p = número CN da área permeável da bacia em estudo;

f = fração da área impermeável da bacia em estudo.

Para a determinação da lâmina d'água gerada para uma precipitação efetiva na área, foi utilizado o Método da Curva Number (SCS, 1972). Para a aplicação desse método se faz necessário, inicialmente, conhecimento do GHS dos Solos (Tabela 1), a determinação do valor correspondente às condições de uso, cobertura da terra e tipos de solos da bacia hidrográfica (Tabela 2) e ao escoamento superficial para a determinação da Curva Number. A definição do GHS foi feita a partir do conhecimento dos tipos de solos correspondentes a área de estudo, associado às suas características e à capacidade de infiltração. Com essa informação, considerando o tipo de cobertura vegetal do local, o tratamento, a condição hidrológica e o GHS, foi obtido o valor da Curve Number.

Método SCS

O método do SCS baseia-se no conceito de hidrograma unitário que foi proposto pela primeira vez em 1932 por Sherman usando 1 cm para a chuva excedente para as unidades do Sistema Internacional (SI). O termo unitário foi usado por Sherman para denominar a unidade do tempo, mas com o tempo foi interpretado como a unidade da chuva excedente de 1cm (VemTe Chow, Maidment e Mays, 1888, p. 214). Snyder desenvolveu o hidrograma unitário sintético em 1938.

O modelo desenvolvido por Sherman é típico para cada bacia e pode ser definido como o resultado de um escoamento superficial de 1 cm de uma chuva com uma determinada duração.

Na prática, para se obter o hidrograma unitário é necessário a análise das precipitações e vazões daquela bacia em estudo. Como usualmente não se tem estes dados, utilizam-se fórmulas empíricas, resultando no que se denomina de hidrograma unitário sintético. Neste modelo é determinada a vazão de pico e a forma do hidrograma baseia-se em um triângulo tendo as características físicas da bacia.

No método SCS a área do triângulo corresponde ao volume efetivo precipitado ("volume escoado unitário - V_u ").

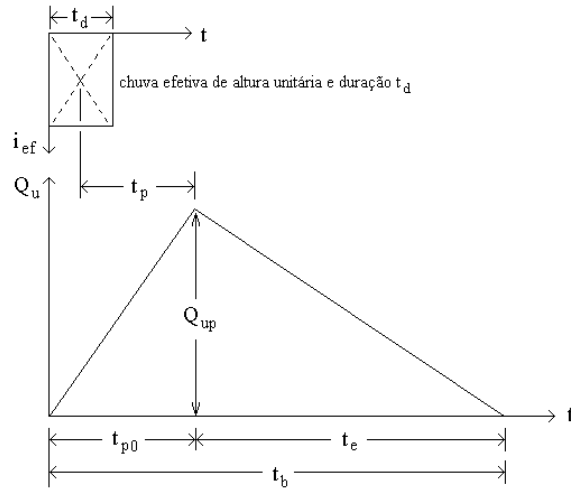


Figura 6 - Digrama Unitário Sintético do SCS
Fonte: Barbosa Júnior, 2015.

As equações utilizadas para o cálculo da vazão foram:

- Tempo de retardamento (t_p) e tempo de ascensão (t_a):

$$t_a = t_p + \frac{D}{2}$$

Onde: t_a = tempo de ascensão ou seja, o tempo de base do hidrograma unitário; t_p = tempo de retardamento; D = duração da chuva unitária

- Tempo de concentração (t_c):

$$t_p = 0,6 * t_c$$

$$t_c = 57 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$$

Onde: L = comprimento do curso (km); H = diferença de cotas (m).

- Vazão de pico (Q_p):

$$Q_{up} \cong \frac{2,08 * A}{t_a}$$

Onde: Q_p = vazão de pico (m^3s^{-1}); A = área da bacia (Km^2); T_a = tempo de ascensão (h).

- Duração da chuva (D):

$$D = 0,133 * t_c$$

Para aplicar os métodos descritos acima necessita-se de variáveis para que seja possível calcular a vazão de contribuição das bacias. Para a determinação do Curve Number são utilizados dados relacionados ao uso e ocupação do solo, bem como características físicas do solo predominante na região. De acordo com a Figura 7, o solo predominante na região onde localiza-se a voçoroca Vila Vitória é o Latossolo Distrófico Típico e o uso do solo divide-se em área urbana e área de uso agrícola (Figura 2).

Com base nestes dados e com o auxílio das Tabelas 1 a 3 definiu-se o GHS do solo e aplicou-se os valores médios de CN nas equações apresentadas acima para determinar o valor da CN para a área em estudo.

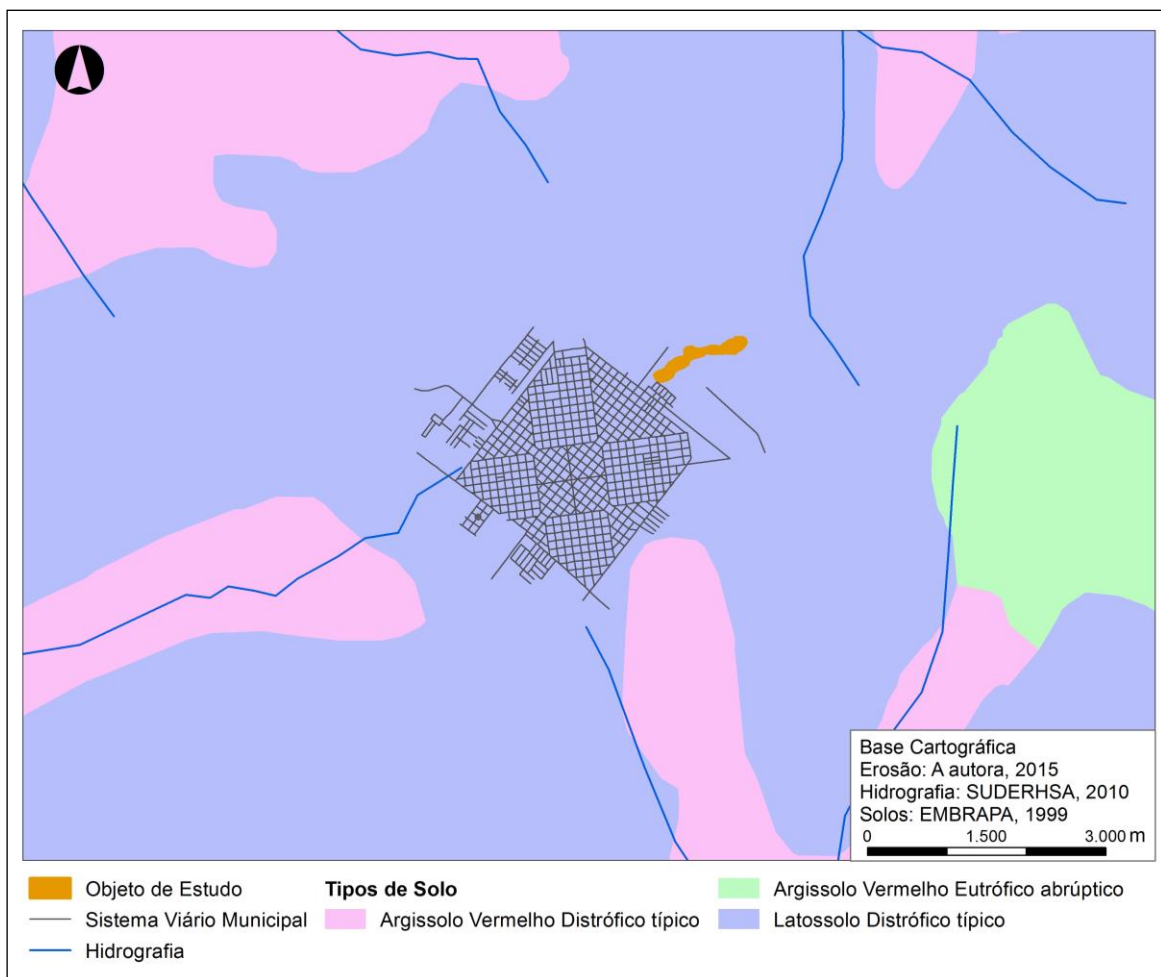


Figura 7 – Mapa de solos.

Com o auxílio *software* AutoCad Civil 3D 2016 e utilizando-se a carta topográfica Folha de Loanda (SF-22-Y-A – MIR484) disponibilizada pelo Instituto de Terras Cartografia e Geociências do Paraná (ITCG), em formato *.dwg* e escala 1:250.000, foram delimitadas as bacias de contribuição para a voçoroca Vila Vitória, considerando-se os divisores de água como limites desta bacia. Tendo em vista que a área de influência da erosão conta com dois tipos de uso do solo, sendo eles a zona urbanizada e a zona de atividades agrícolas, objetivou-se analisar a influência do uso do solo nas vazões de pico e a consequente contribuição para a evolução da erosão Vila Vitória. Para tal análise foram delimitadas duas bacias de contribuição, denominadas B1 – bacia da área urbana, com área de 0,84 Km² e B2- bacia da área agrícola, com área de 1,80 Km² (Figura 8).

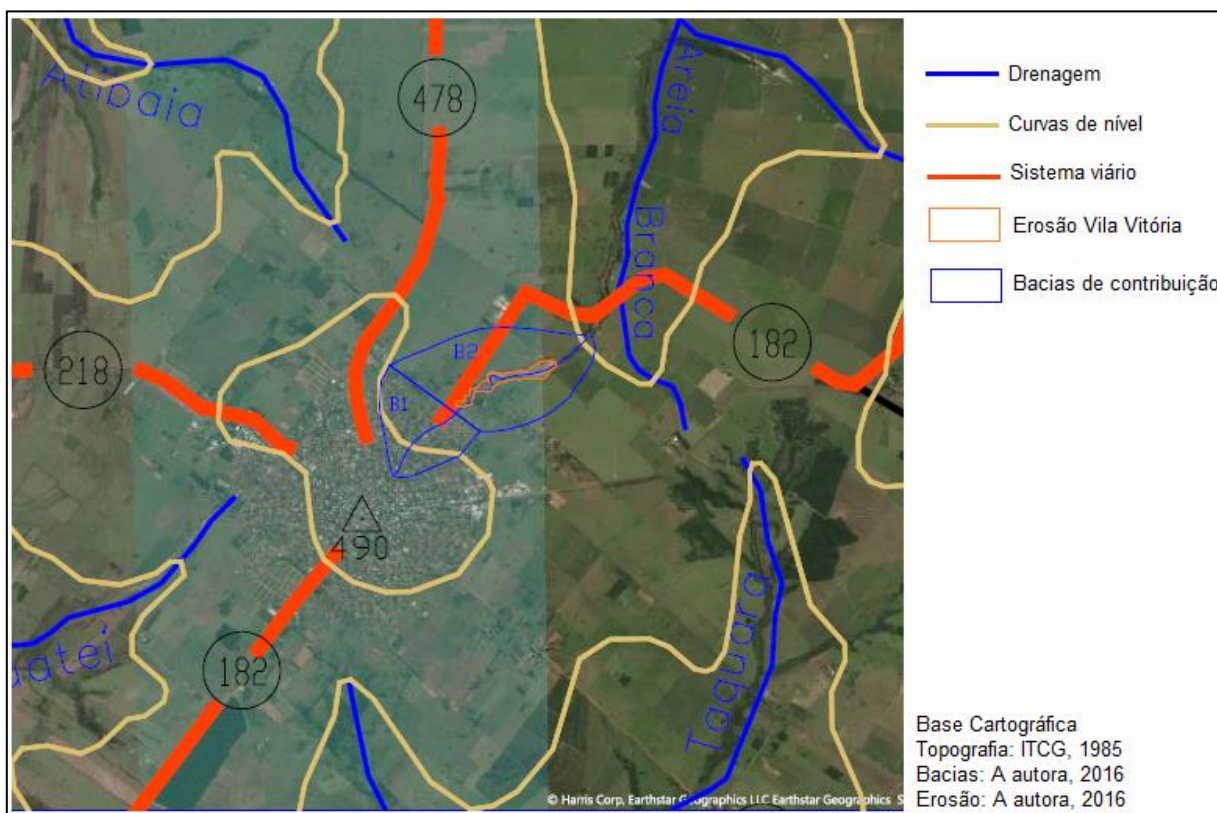


Figura 8- Bacias delimitadas

Após a delimitação das bacias, buscou-se as demais variáveis para a aplicação do Método do SCS, sendo assim delimitou-se o talvegue para cada uma delas e a

diferença de cotas (H). O comprimento do talvegue para a bacia B1 é de 1,04 Km e a diferença de cotas H é igual a 61 m, enquanto para a bacia B2 o talvegue possui 1,90 Km e H = 36 m.

Com o auxílio das Tabelas 1 e 2 e considerando os tipos de cobertura dos solos correspondente às bacias estudadas, e aplicando-se as equações do Modelo Hidrológico Curve Number verificou-se que o número CN_w para a bacia correspondente à área urbanizada foi de 95,4, e para a área de uso agrícola, de acordo com as Tabelas 1 e 2, áreas de uso agrícola e solos tipo B, o CN é 67.

Com o auxílio do *software* Excel e utilizando-se as equações do método do SCS apresentadas anteriormente calcularam-se as variáveis necessárias para a aplicação do método para B1 e B2.

Após aplicar as equações do Método SCS para bacia urbana B1 e B2, necessita-se aplica a equação de chuva intensa para a cidade de Loanda. Como não há uma equação de chuva intensa para a cidade de Loanda, utilizou-se a equação de chuva intensa de Santa Isabel do Ivaí, que é a cidade mais próxima de Loanda que possui equação de chuva intensa definida por Fendrich (1996) e é dada por:

$$i_{m\acute{a}x} = \frac{1,824,73 * Tr^{0,166}}{(t + 17)^{0,892}}$$

Onde: $i_{m\acute{a}x}$ = intensidade de chuva máxima (mm/h); Tr = período de retorno (anos) – Tr adotado = 25 anos; t = tempo de duração da chuva (min) - duração da chuva adotada = 0,3h = 18 min para B1 e 40 min para B2.

Aplicando-se estes valores na equação acima, obteve-se $i_{m\acute{a}x}$ para cada uma das bacias estudadas.

Após a denificação da $i_{m\acute{a}x}$ o procedimento seguinte é a determinação do hidrograma de cheia e a identificação da chuva excedente. Para efetuar esta etapa define-se a distribuição temporal das chuvas. Em linhas gerais, o procedimento utilizado por Huff (1967) é adotado neste estudo. Existem quatro distribuições de Huff, sendo recomendado: i) primeiro quartil para chuvas menores ou igual a 6h; ii) segundo quartil para chuvas de 6,1h a 12h; iii) terceiro quartil para chuvas entre 12,1h e 24h; iv) quarto quartil para chuvas maiores que 24h. Portanto, para este estudo considerou-se o hietograma conforme Huff, 1º quartil com 50% de probabilidade.

A chuva excedente é calculada pela equação

$$Q = \frac{(P-0,2S)^2}{(P+0,8S)}$$

Onde: Q = chuva excedente (mm); P=Precipitação (precipitação acumulada da tabela de Huff 1º Quartil, 50%); S = potencial máximo de retenção após começar o escoamento superficial (mm), dado pela equação: $S = \left(\frac{25400}{CN}\right) - 254$.

A condição da equação de Q é que $P > 0,2S$. Se $P < 0,2S$, então $Q=0$

Definida a chuva excedente (em cm, tendo em vista que o hidrograma unitário refere-se a 1 cm de chuva) determinou-se o hidrograma de cheia. Uma das imposições do método do hidrograma unitário é que o intervalo de tempo, isto é, a duração da chuva considerada de 2 min para a B1 e 4 min para B2 seja constante. Para o hidrograma curvilíneo não há essa necessidade, portanto, para a determinação do hidrograma de cheia efetuou-se interpolação linear e em seguida aplicou-se a convolução (multiplicação, translação e soma) para se obter o hidrograma final.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Bacia B1

Tempo de Concentração: $t_c = 12,25$ min; Tempo de Pico: $t_p = 7,35$ min; Duração da chuva: $15,93$ min = $0,27$ h adotou-se $0,3$ h; Duração da chuva unitária: $D = 1,63$ min adotou-se $D = 2$ min; Tempo de ascensão: $t_a = 8,35$ min = $0,14$ h; Vazão de Pico (Q_p) do hidrograma unitário: $12,55$ m³/s; $I_{máx} = 40$ mm.

O hidrograma unitário sintético do SCS pode ser triangular e curvilíneo. O curvilíneo apresenta maior precisão e melhores resultados que o triangular, sendo que o triangular é usado somente para fins didáticos. O hidrograma curvilíneo nada mais é do que a função Gamma que foi adotada pelo SCS. A função Gamma precisa do fator de pico PF.

$$q/q_p = [t/t_p \cdot \exp(1 - t/t_p)]^x$$

$$x = 0,8679 \exp(0,00353 \cdot PF) - 1$$

Para $PF = 484$ (normalmente adotado) o valor de $x = 3,79$

Dessa forma, a Função Gamma para o estudo de B1 é dada por:

$$Q/Q_p = [t/t_p \cdot \exp(1 - t/t_p)]^{3,79}$$

$$Q=12,55x[t/8,35*\exp(1-t/8,35)]^3,79$$

O hidrograma unitário curvilíneo obtido para esta bacia é apresentado na Figura 9.

t/tp	Q/Qp	t(min)	Q (m³/s)
0	0	0,00	0,00
0,1	0,03	0,84	0,38
0,2	0,1	1,67	1,26
0,3	0,19	2,51	2,38
0,4	0,31	3,34	3,89
0,5	0,47	4,18	5,90
0,6	0,66	5,01	8,28
0,7	0,82	5,85	10,29
0,8	0,93	6,68	11,67
0,9	0,99	7,52	12,42
1	1	8,35	12,55
1,1	0,99	9,19	12,42
1,2	0,93	10,02	11,67
1,3	0,86	10,86	10,79
1,4	0,78	11,69	9,79
1,5	0,68	12,53	8,53
1,6	0,56	13,36	7,03
1,7	0,46	14,20	5,77
1,8	0,39	15,03	4,89
1,9	0,33	15,87	4,14
2	0,28	16,70	3,51
2,2	0,207	18,37	2,60
2,4	0,147	20,04	1,84
2,6	0,107	21,71	1,34
2,8	0,077	23,38	0,97
3	0,055	25,05	0,69
3,2	0,04	26,72	0,50
3,4	0,029	28,39	0,36
3,6	0,021	30,06	0,26
3,8	0,015	31,73	0,19
4	0,011	33,40	0,14
4,5	0,005	37,58	0,06
5	0	41,75	0,00

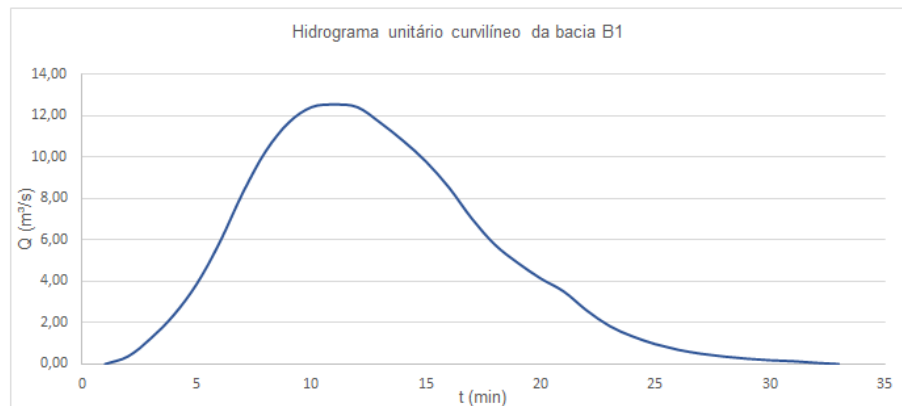


Figura 9 – Hidrograma unitário curvilíneo da bacia B1.

A chuva excedente Q, para CNw = 95,40, S= 12,25 e **0,2S = 2,45** é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Chuva excedente - bacia B1

Tempo (min)	HUFF 1.Q 50%	Precipitação por faixa (mm)	Precipitação Acumulada (P) (mm)	Chuva excedente (Q) acumulada (mm)	Q por faixa (mm)	Q por faixa (cm)
1,50	0,13	5,28	5,28	0,0	0,0	0,00
3,00	0,27	10,96	16,24	7,3	7,3	0,73
4,50	0,21	8,32	24,56	14,2	6,9	0,69
6,00	0,12	4,64	29,20	18,3	4,1	0,41
7,50	0,07	2,84	32,04	20,9	1,9	0,19
9,00	0,05	2,12	34,16	22,9	1,9	0,19
10,50	0,05	1,84	36,00	24,6	1,7	0,17
12,00	0,03	1,12	37,12	25,6	1,0	0,10
13,50	0,02	0,96	38,08	26,5	0,9	0,09
15,00	0,02	0,96	39,04	27,4	0,9	0,09
16,50	0,02	0,64	39,68	28,0	0,9	0,09
18,00	0,01	0,32	40,00	28,3	0,3	0,03
	1,00	40,00			28,0	2,80

Após a interpolação do tempo de 2 em 2 min e a realização da convolução obtém-se o hidrograma unitário sintético para a bacia B1:

Chuva excedente (cm)														
t (min)	1,50	3,00	4,50	6,00	7,50	9,00	10,50	12,00	13,50	15,00	16,50	18,00	Soma	
0	0,00	0,00											0,00	
2	1,90	0,00											0,00	
4	6,61	0,00	1,39										1,39	
6	9,92	0,00	4,83	1,32									6,15	
8	10,82	0,00	7,24	4,58	0,78								12,61	
10	8,37	0,00	7,90	6,87	2,72	0,37							17,86	
12	4,88	0,00	6,11	7,49	4,09	1,29	0,37						19,35	
14	2,95	0,00	3,56	5,80	4,46	1,93	1,29	0,32					17,36	
16	2,26	0,00	2,15	3,38	3,45	2,11	1,93	1,13	0,20				14,34	
18	1,11	0,00	1,65	2,04	2,01	1,63	2,11	1,69	0,69	0,17			11,99	
20	0,83	0,00	0,81	1,57	1,21	0,95	1,63	1,84	1,03	0,59	0,17		9,81	
22	0,61	0,00	0,60	0,77	0,93	0,57	0,95	1,43	1,13	0,89	0,59	0,17	8,04	
24	0,31	0,00	0,44	0,57	0,46	0,44	0,57	0,83	0,87	0,97	0,89	0,60	6,71	
26	0,23	0,00	0,22	0,42	0,34	0,22	0,44	0,50	0,51	0,75	0,97	0,89	5,47	
28	0,12	0,00	0,17	0,21	0,25	0,16	0,22	0,39	0,31	0,44	0,75	0,97	4,16	
30	0,05	0,00	0,08	0,16	0,13	0,12	0,16	0,19	0,24	0,26	0,44	0,75	2,86	
32	0,32	0,00	0,04	0,08	0,09	0,06	0,12	0,14	0,12	0,20	0,26	0,44	1,80	
34	0,27	0,00	0,23	0,03	0,05	0,04	0,06	0,10	0,09	0,10	0,20	0,27	1,32	
36	0,22	0,00	0,20	0,22	0,02	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,10	0,20	1,09	
38	0,20	0,00	0,16	0,19	0,13	0,01	0,02	0,04	0,03	0,05	0,07	0,10	0,88	
40	0,17	0,00	0,15	0,15	0,11	0,06	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,07	0,72	
42	0,14	0,00	0,12	0,14	0,09	0,05	0,06	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,62	
44	0,12	0,00	0,10	0,12	0,08	0,04	0,05	0,05	0,01	0,01	0,02	0,03	0,53	
46	0,07	0,00	0,09	0,10	0,07	0,04	0,04	0,05	0,03	0,00	0,01	0,02	0,46	
48	0,05	0,00	0,05	0,08	0,06	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,00	0,01	0,38	
50	0,03	0,00	0,04	0,05	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,00	0,00	0,31	
52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

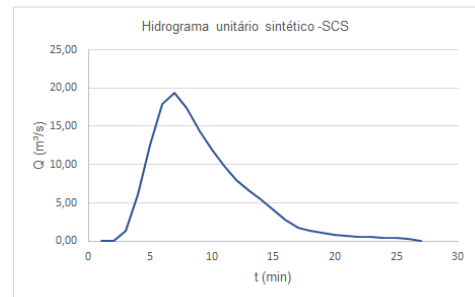


Figura 10 - Hidrograma unitário sintético - bacia B1.

Por meio da soma das linhas das colunas 3 a coluna 14 obtemos os valores do hidrograma unitário sintético, com o máximo de 19,35 m³/s que representa a vazão máxima devido ao escoamento superficial no tempo de 12 min.

- Bacia B2

Tempo de Concentração: $t_c = 30,11$ min; Tempo de Pico: $t_p = 18,06$ min; Duração da chuva: 39,14 min (adotou-se 40 min) = 0,65 h; Duração da chuva unitária: $D = 4$ min; Tempo de ascensão: $t_a = 20,06$ min = 0,33h; Vazão de Pico (Q_p) do hidrograma unitário: $11,20 \text{ m}^3/\text{s}$; $i_{\text{máx}} = 26 \text{ mm}$.

Equação Gamma:

$$Q = 11,20 \times [t/18,06 \times \exp(1 - t/18,06)]^{3,79}$$

O hidrograma unitário curvilíneo para a bacia B2 é apresentado na Figura 11.

t/ t_p	Q/ Q_p	t(min)	Q (m^3/s)
0	0	0,00	0,00
0,1	0,03	1,81	0,34
0,2	0,1	3,61	1,12
0,3	0,19	5,42	2,13
0,4	0,31	7,22	3,47
0,5	0,47	9,03	5,26
0,6	0,66	10,84	7,39
0,7	0,82	12,64	9,18
0,8	0,93	14,45	10,42
0,9	0,99	16,25	11,09
1	1	18,06	11,20
1,1	0,99	19,87	11,09
1,2	0,93	21,67	10,42
1,3	0,86	23,48	9,63
1,4	0,78	25,28	8,74
1,5	0,68	27,09	7,62
1,6	0,56	28,90	6,27
1,7	0,46	30,70	5,15
1,8	0,39	32,51	4,37
1,9	0,33	34,31	3,70
2	0,28	36,12	3,14
2,2	0,207	39,73	2,32
2,4	0,147	43,34	1,65
2,6	0,107	46,96	1,20
2,8	0,077	50,57	0,86
3	0,055	54,18	0,62
3,2	0,04	57,79	0,45
3,4	0,029	61,40	0,32
3,6	0,021	65,02	0,24
3,8	0,015	68,63	0,17
4	0,011	72,24	0,12
4,5	0,005	81,27	0,06
5	0	90,30	0,00

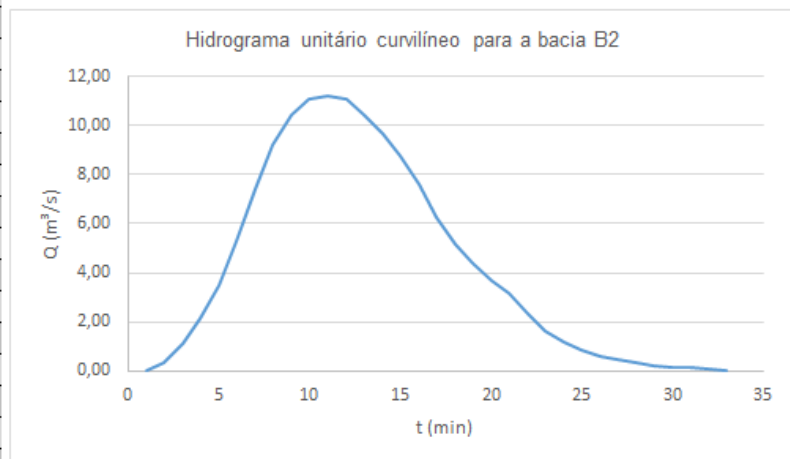


Figura 21 - Hidrograma unitário curvilíneo - bacia B2.

A chuva excedente Q , para $CN=67$, $S=125,10$ e **$0,2S=25,02$** é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Chuva excedente na bacia B2.

Tempo (min)	HUFF 1.Q 50%	Precipitação por faixa (mm)	Precipitação Acumulada (P) (mm)	Chuva excedente Q acumulada (mm)	Q por faixa (mm)	Q por faixa (cm)
3,33	0,13	3,43	3,43	0,0000	0,0000	0,0000
6,66	0,27	7,12	10,55	0,0000	0,0000	0,0000
9,99	0,21	5,41	15,96	0,0000	0,0000	0,0000
13,32	0,12	3,02	18,98	0,0000	0,0000	0,0000
16,65	0,07	1,85	20,82	0,0000	0,0000	0,0000
19,98	0,05	1,38	22,20	0,0000	0,0000	0,0000
23,31	0,05	1,20	23,40	0,0000	0,0000	0,0000
26,64	0,03	0,73	24,13	0,0000	0,0000	0,0000
29,97	0,02	0,62	24,75	0,0000	0,0000	0,0000
33,33	0,02	0,62	25,37	0,0010	0,0010	0,0001
36,63	0,02	0,42	25,79	0,0047	0,0066	0,0007
40,00	0,01	0,21	26,00	0,0076	0,0029	0,0003
	1,00	26,00			0,01	0,0010

Tendo em vista que $0,2S = 25,02$, Q é igual a zero nos primeiros 30 min de chuva.

Após a interpolação do tempo de 4 em 4 min e a realização da convolução obtém-se o hidrograma unitário sintético para a bacia B2, com base na chuva excedente Q (Figura 12):

Chuva excedente em cm													
t (min)	3,33	6,66	9,99	13,32	16,65	19,98	23,31	26,64	29,97	33,33	36,63	40	Soma
t (min)	Q (m³/s)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0007	0,0012	0,0018	0,0024	0,0009
0	0,00	0,0000											0,00
4	1,57	0,0000	0,0000										0,00
8	4,66	0,0000	0,0000	0,0000									0,00
12	8,72	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000								0,00
16	10,91	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000							0,00
20	9,61	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000						0,00
24	8,29	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000					0,00
28	6,08	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0011				0,00
32	4,30	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0033	0,0019				0,01
36	3,13	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0061	0,0056	0,0028			0,01
40	1,52	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0076	0,0105	0,0084	0,0038		0,03
44	2,76	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0067	0,0131	0,0157	0,0112	0,0014	0,05
48	0,82	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0058	0,0115	0,0196	0,0209	0,0042	0,06
52	0,59	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0043	0,01	0,0173	0,0262	0,0078	0,07
56	0,43	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,003	0,0073	0,0149	0,0231	0,0098	0,06
60	0,32	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0022	0,0052	0,0109	0,0199	0,0087	0,05
64	0,23	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0011	0,0038	0,0077	0,0146	0,0075	0,03
68	0,17	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0019	0,0018	0,0056	0,0103	0,0055	0,03
72	0,12	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0006	0,0033	0,0027	0,0075	0,0039	0,02
76	0,05	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004	0,001	0,005	0,0036	0,0028	0,01
80	0,06	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0007	0,0015	0,0066	0,0014	0,01
84	0,04	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0005	0,0011	0,002	0,0025	0,01
88	0,02	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0004	0,0008	0,0014	0,0007	0,00
92	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00

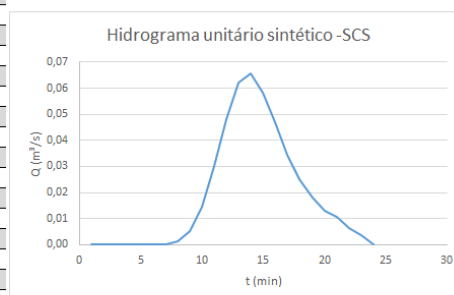


Figura 32 - Hidrograma unitário sintético - bacia B2.

A vazão máxima devido ao escoamento superficial na bacia B2 é de 0,07 m³/s após 52 min de chuva intensa.

Avaliando-se a vazão nas bacias B1 e B2 por meio dos hidrogramas unitários curvilíneos, tem-se que a Qp na bacia B1 é de 12,55 m³/s no tempo de 8,35 min, enquanto na bacia B2 a vazão atinge seu pico de 11,20 m³/s em 18,06 min. Observa-se que a vazão máxima na área urbana é maior apesar de a área da bacia B1 possuir menos da metade da área da bacia B2. As contribuições para a vazão nestas bacias devem-se: i) à precipitação recolhida diretamente pela superfície livre da água; ii) ao escoamento superficial dito direto (incluído o subsuperficial); iii) ao escoamento de base ou subterrâneo (contribuição do lençol d'água subterrâneo). Normalmente, por ser difícil a distinção, as duas primeiras parcelas são computadas como escoamento superficial.

Sabe-se que o aumento da impermeabilidade do solo tem relação direta com a vazão de pico em áreas urbanas. Quanto maior a área impermeabilizada, maior será a vazão de pico em um menor intervalo de tempo. Nunes e Fiori (2008) analisaram a relação da impermeabilização dos solos com o aumento dos picos de vazão de cheias em bacias hidrográficas urbanas para diversos períodos de retorno (TRs). Os autores observaram que para uma bacia que em seu estado natural possuía apenas 4,5% da área impermeabilizada e que na época do estudo a mesma apresentava 45,5% da sua área impermeabilizada, a vazão de pico praticamente duplicou para todos os períodos

de retorno. Segundo os autores, a variação do tempo de concentração da bacia analisada, em relação à impermeabilização dos solos ocorrida no período estudado, pode-se verificar que para uma mudança na taxa de impermeabilização dos solos de 4,5% para 30%, o tempo de concentração da bacia passou de 3 horas e 35 min para 2 horas, ou seja, ocorreu um decréscimo no tempo de concentração de 1 hora e 30 min entre este período. Justino et al (2011) avaliaram o efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial em Uberlândia-MG. Os resultados obtidos pelos autores na simulação dos cenários mostraram que para uma variação de 29 a 54% no índice de áreas impermeáveis, a vazão de pico pode sofrer um aumento de até 59,40% sobre a vazão de pico do cenário de referência.

Diante do exposto pode-se concluir que as diferenças nas vazões de pico das duas bacias ocorrem principalmente pelas diferenças nas características de uso e ocupação do solo em cada uma delas.

Ao se analisar a chuva excedente nas duas bacias é nítido que o escoamento superficial na bacia B1 com características urbanas é maior, enquanto na bacia B2 que possui uso do solo agrícola a chuva excedente é praticamente zero.

Outro fator que intensifica a contribuição da bacia B1 para o desenvolvimento da voçoroca Vila Vitória é que há um sistema de drenagem da água pluvial coletada na área urbanizada que é direcionado diretamente para a erosão, intensificando a sua evolução e avanço remontante em direção à área urbanizada, colocando em risco a população no seu entorno.

Na área de uso agrícola, a permeabilidade do solo impede que o escoamento superficial se desenvolva de forma tão rápida e este só ocorre após o solo atingir seu ponto de saturação, reduzindo a contribuição desta bacia para o desenvolvimento da voçoroca.

Mangueira *et al* (2015) constata em seu estudo sobre as causas naturais e antrópicas do processo de voçorocamento em Loanda que a própria localização da cidade e forma de arruamento promovem o aumento da energia das águas superficiais em direção à erosão. De acordo com os autores, ao total são 69,732 m² de ruas impermeabilizadas que drenam diretamente para a cabeceira da erosão.

Outro fator que deve ser considerado para o desenvolvimento da erosão é a vulnerabilidade natural da região. De acordo com Santos *et al* (2007), unidade geomorfológica Planalto de Paranavaí apresenta moderada vulnerabilidade a processos erosivos laminares e lineares (ravinas e voçorocas). Ainda segundo os autores nesta unidade geomorfológica é recomendada ocupação do solo com práticas conservacionistas e deve-se evitar tipos de uso do solo que ocasionem a concentração de água superficial. Atualmente, na área de estudo ocorre o inverso do proposto pelos autores.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento da erosão Vila Vitória está relacionado a diversos fatores, sendo eles naturais e antrópicos.

A vulnerabilidade natural à erosão devido às características do solo associadas ao mau uso, manejo e ocupação do solo desde a década de 1940 foram determinantes para o surgimento e desenvolvimento da erosão.

Neste estudo, observou-se que apesar da área de contribuição da bacia com características urbanas ser menor do que a área de contribuição da bacia com características agrícolas, a vazão de pico da primeira é maior, colocando-a como principal contribuinte para o desenvolvimento da voçoroca estudada. Outro fator proveniente da zona urbana que intensifica a evolução da erosão Vila Vitória é o direcionamento, por meio de dispositivos de drenagem, das águas pluviais para a erosão Vila Vitória.

A vazão da porção da bacia ocupada por uso agrícola é menor, porém a área é maior. Isso se deve principalmente às características de impermeabilização do solo, as quais permitem que as águas precipitadas infiltrem, e apenas quando o solo atinge sua capacidade de saturação ocorre o escoamento superficial, responsável pelo carreamento do solo e contribuinte no desenvolvimento da erosão.

Tendo em vista o caráter ainda incipiente do estudo proposto, sugere-se que sejam desenvolvidos estudos mais aprofundados, comparando-se o método aqui aplicado com outros métodos disponíveis na literatura a fim de se avaliar qual se ajusta melhor às características da área estudada, e concomitantemente, sejam elaboradas

pesquisas em parceria com o poder público para que se possa chegar a uma solução estrutural para a contenção desta erosão antes que a área urbana seja comprometida.

Referências

BACELLAR, L. DE A. P. Condicionantes geológicos, geomorfológicos e geotécnicos dos mecanismos de voçorocamento na Bacia do rio Maracujá, Ouro Preto, MG. COPPE/UFRJ. Tese de doutorado, 2000.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. (1990). Conservação do solo. São Paulo: Ícone

BIGARELLA J.J., MAZUCHOSWSKI J.Z. 1985. Visão integrada da problemática da erosão. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, III., Maringá, ABGE, ADEA. 332p.

BIGARELLA, J. J; BECKER, R. D; SANTOS, G. F. dos. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: UFSC. v II. 2007.

CANCIAN, N. A. Cafeicultura paranaense: 1900/1970. Curitiba: Grafipar, 1981.

CARVALHO, F.L.C.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Eficácia relativa de doses e formas de manejo do resíduo cultural de trigo na redução da erosão hídrica do solo. R. Bras. Ci. Solo, 14:227-234, 1990.

CARVALHO, J. F. de. Os assalariados rurais da agroindústria canavieira na mesorregião noroeste paranaense. 2008. 199 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

CASSETI, V. Ambiente e apropriação do relevo. São Paulo: Contexto, 1991.

CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R., MAYS, L.W. (1988). Applied Hydrology. McGraw-Hill, Singapore

DOLLFUS, O. (1973). O espaço geográfico. São Paulo: DIFEL.

FENDRICH, R. Chuvas Intensas para Obras de Drenagem no Estado do Paraná. 2ª Edição. Gráfica Vicentina Editora Ltda. Curitiba/PR, 2003, 101 p.

FERNANDES, R.J.A.R.; LEÃO, J.C.; NETO, A.R.; CIRILO, J. A. Avaliação do impacto de novos empreendimentos nas inundações urbanas com o apoio de imagens Google Earth – estudo de em Teresina/PI. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Brasília, 2015.

FONSECA, F. P da. O projeto “Arenito Nova Fronteira” e o avanço das lavouras

temporárias nas terras de pasto. 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

FRANÇA, J. P. A ocupação do nordeste do Paraná e a cidade de Umuarama: uma retrospectiva da processo de ocupação. *Akrópolis Umuarama*, v. 19, n. 3, p. 165-174, jul./set. 2011.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. da. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 7ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

HOEPFNER, A.C. Estudo comparativo entre vazões de pico estimadas pelo método racional e pelo método do SCS para a Bacia Hidrográfica do rio Bom Retiro em Joinville-SC. 2007. 57 f. Monografia do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

HUFF, F.A. 1967. The distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources Research*. Vol 3(4): 1007-1019.

JONES, DAVID S. et al. Calculating revised universal soil loss equations (RUSLE) estimates on Department of Defense Lands: a review of Rusle: factors and US Army Land Conditions- trend analysis (LCTA) data gaps.- Department of Forest Science, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523. Disponível em: <https://www.cemml.colostate.edu/assets/pdf/tps-96-8.pdf>, acessado em 13/07/2015.

JUSTINO, E.A.; PAULA, H.M.; PAIVA. E.C. Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG. *Espaço em Revista*, vol. 13, nº 2, jul/dez 2011, p.16-38. Goiás, 2011.

KOHLHEPP, G. Colonização agrária no Norte do Paraná: processos geoeconômicos e sociogeográficos de desenvolvimento de uma zona subtropical do Brasil sob a influência da plantação de café. Editora da Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2014.

LAL, R (editor). *Soil erosion research methods*. 2 ed. 1994.

LOMBARDI NETO, F.; Junior, R. B.; Lepsh, I. G.; Oliveira, J. B.; Bertolini, D.; Galeti, P. A.; Drugowich, M. I., *Terraceamento Agrícola*. Boletim téc. 206, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, CATI, Campinas, 1991, 39 p.

LOMBARDI-NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. *Erosividade da chuva: Sua*

distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). *Bragantia*, 51:189-196, 1992.

MAACK R. 1968. *Geografia Física do Estado do Paraná*. 1ª.Edição, Curitiba, 1968. Liv. José Olympio Edit.

MANGUEIRA, C.G.; SANTOS, T.G.P.dos; SANTOS, L.J.C.; SOUZA, D.C. Processo de voçorocamento em Loanda: causas naturais e antrópicas. 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Bento Gonçalves, 2015.

MATA-LIMA, H.; VARGAS, H.; CARVALHO, J.; GONÇALVES, M.; CAETANO, H.; MARQUES, A. RAMINHOS, C. Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. *Revista Escola de Minas, Ouro Preto*, 60(3): 525-536, jul.set. 2007.

MAYS, LARRY W. *Water resources engineering*. Editora John Wiley, 761 páginas, 2001.

MCCUEN, R.H. (1998). *Hydrologic analysis and design*. 2.ed. New Jersey: Prentice Hall.

MINEROPAR - MINERAIS DO PARANÁ. 2001. *Atlas Geológico do Estado do Paraná - Escala base 1: 500.000*; Curitiba.

MOREIRA, L.L. *Análise do impacto da evolução urbanística sobre o sistema de drenagem urbana*. Monografia de conclusão de curso de Engenharia Ambiental. 87 f. 2014. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2014.

NUNES, F.G.; FIORI, A.P.; *Análise da impermeabilização dos solos e aumento dos picos de vazão de cheias em bacias hidrográficas urbanas*. *Boletim Paranaense de Geociências*, n.-62-63, p. 47-60. Curitiba, 2008.

ORGAN, R. P. C. *Soil erosion and conservation*. Third edition, Blackwell Publishing Ltda. 2005.

PAIVA, E.M.C.D. E PAIVA, J.B.D. *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre: ABRH, 2001. p 367.

RIGHETTO, A.M. *Hidrologia e recursos hídricos*. São Carlos: EESC/USP, 1998. 840 p.

RUFINO, R.L. *Avaliação do potencial erosivo da chuva para o estado do Paraná: Segunda aproximação*. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:279-281, 1986.

SANTOS, L.J.C, dos. OKA-FIORI, C., CANALLI, N.E., FIORI, A.P., SILVEIRA, C.T., SILVA, J.M.F.da. Mapeamento da vulnerabilidade geoambiental do estado do Paraná. Revista Brasileira de Geociências, 812-820, 2007.

SCHWAB, G.O.; FREVERT, R.K.; DMINSTER, T.W. & BARNES, K.K. Soil and water conservation engineering. 2.ed. New York: John Wiley, 1966. 683p. (The Fergunson Foundation Agricultural Engineering Series).

SOUZA M.L. 2001. Proposta de um sistema de classificação de feições 23, medidas corretivas, mitigadoras e preventivas: aplicação no município de Umuarama (PR). Rio Claro. Tese de doutorado - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências exatas, 284p.

TOMAZ, P. (2002). Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais. Navegar, São Paulo.

TUCCI, C. E. M. (org.). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS), ABRH: EDUSP. v. 4. 1993.

VARGAS, R.C.R. Influência de estudos hidrológicos na vazão de projeto de pequenas obras hidráulicas – estudo de caso da Microbacia do Córrego do Gregório, São Carlos – SP. 81 f. 2014. Monografia de Graduação em Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2014.

VILELA FILHO, L.R. (2002). Estimativa da perda de solos em uma bacia hidrográfica sob o cultivo de frutíferas, no município de Valinhos (SP). 2002. 153f. Trabalho de Conclusão de Curso (Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas- SP.

WACHOWICZ, R. C. História do Paraná. 6. ed. Curitiba: Vicentina, 1988.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountain. Washington, DC: ARS/USDA, 1965.